

基于双目视觉模型的彩色目标实时检测与定位

汪倩倩¹, 申忠宇², 张 亮²

(1. 南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097; 2. 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 从立体视觉中提取位置信息是计算机视觉的热点问题. 在建立双目视觉模型的基础上提出了一种新的基于 YUV 彩色模型的实现足球立体视觉匹配的检测方法. 该方法将匹配问题映射为具有某种颜色的目标特征区域的中心, 把其中心作为匹配点, 通过目标的分割获得匹配点后根据双目视觉定位数学模型恢复图像位置信息, 完成对目标的实时检测和定位, 满足机器比赛中对足球实时检测和定位的需要.

[关键词] 双目视觉, 检测, 定位, YUV

[中图分类号] TP391 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2008)01-0018-06

Real Time Color Target Detection and Orientation Based on the Binocular Vision Model

Wang Qianqian¹, Shen Zhongyu², Zhang Liang²

(1. School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(2. School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract It is a popular machine vision problem to extract the orientation information from stereoscopic vision. A new detection method of realizing football stereoscopic vision matching is presented based on the Binocular Vision Model in YUV color space. In the method, the matching problem is mapped to a center of the object area which has the same color and the center is looked as the point of matching. The location information of the object is resumed from the matching point based on the Binocular Vision Model through image segmentation, then the real time object detection and location are accomplished and fulfilled in robot competition.

Key words binocular vision, detect, locate, YUV

双目视觉系统是双目足球机器人非常重要的一部分, 是决策及控制的基础, 只有快速准确地跟踪机器人和足球的位置及运动方向, 迅速做出相应决策, 才能使球队立于不败之地. 在建立有效的双目视觉系统模型后, 从左右两摄像头中找到同一目标的像点并进行匹配, 一直是问题的难点之一. 匹配的快速性、有效性直接影响着对目标定位的快速性和准确性, 也是决定球队成败的关键. 在复杂背景下, 要实现目标特征的匹配, 首先需要把目标从背景中分割出来, 目前常用的图像分割方法主要有两种: (1) 在 Lab 彩色模型中, 对 a 通道进行阈值分割. 该方法在分割之前需要把图像彩色模型从 RGB 变换到 Lab, 需要大量的乘除运算, 并且分割阈值需要靠经验或试验来确定^[1-3]; (2) 基于 BP 神经网络的分割方法^[4-6], 该算法在 HSV 彩色模型中进行, 同样需要彩色模型变换, 且使用乘运算, 由于图像数据量大, 耗去大量的 CPU 资源; 另外从实验结果来看, 分割结果受教师信号的影响很大. 因此, 研究一种更为快速并且可靠的图像分割方法十分必要.

以解决双目匹配所要求的快速性、准确性为目标, 提出了使用 YUV 之间的颜色关系分割目标的方法, 快速准确的把目标和背景分割开来, 然后计算出目标的质心, 把左右摄像头获得的目标质心作为左右摄像头成像的匹配点. 系统基于双目视觉模型, 通过基于 YUV 颜色模型的球心检测方法有效解决了立体匹配的难点, 从而快速准确的求出目标的位置信息, 具有很好的应用价值.

收稿日期: 2007-03-06

作者简介: 汪倩倩(1980-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 智能控制技术及应用. E-mail: wangqianqian20004@126.com

通讯联系人: 申忠宇(1962-), 副教授, 研究方向: 控制理论与控制工程. E-mail: shenzhongyu@njnu.edu.cn

双目视觉系统以 TI ICETEK - DM 642 为核心, 以橙色足球为目标检测的对象, 通过 CCD 获取视频序列, 对当前图像检测出目标, 并对目标进行实时定位, 所有算法均使用 C 和汇编语言混合编程并在 TI ICETEK - DM 642 上开发实现. 实验结果表明该方法需处理数据少, 计算简便, 更适于实时测量, 最终实现目标的自动检测定位, 达到了通过双目视觉模型对目标进行实时检测和定位的目的.

1 双目视觉模型的定位原理

双目立体视觉是从人的双目产生立体感中获得启示, 研究如何从左右两个摄像头所得的两幅图像中获取匹配点进而得到场景的深度信息以确定摄像头与物体的相对位置.

定位数学模型如图 1 所示为双目摄像头观察同一点 P 的情况, 其中两个摄像机的成像平面处于同一平面并且与 Z 轴垂直, 两摄像头焦距相等. 光心 O_1, O_2 位于 X 轴上, O_1 设为坐标轴的原点. p_1 和 p_2 为成像点对, 也是在匹配过程中所寻找的左右两幅图像上代表空间同一点的一对匹配点.

以 C_1 的透镜中心 O_1 为坐标原点, 光轴方向为 Z 轴建立坐标系 $O_1X_1Y_1Z_1$, 以 C_2 的透镜中心 O_2 为坐标原点, 光轴方向为 Z 轴建立坐标系 $O_2X_2Y_2Z_2$. 则任一空间点 P 的坐标在 C_1 坐标系下为 (X_1, Y_1, Z_1) , 则它在 C_2 坐标系下的坐标为 $(X_2 + b, Y_2, Z_2)$.

利用射影几何学的知识可得:

$$\begin{cases} u_1 - u_0 = f \frac{X_1}{Z_1 \alpha_x}, \\ u_2 - u_0 = f \frac{X_1 + b}{Z_1 \alpha_x}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{两式相减得:} \quad Z = \frac{bf}{\alpha_x (u_2 - u_1)}, \quad (2)$$

$$\text{同理得:} \quad X = \frac{b(u_1 - u_0)}{u_2 - u_1}, \quad (3)$$

$$Y = \frac{b\alpha_y (v_1 - v_0)}{\alpha_x (u_2 - u_1)}. \quad (4)$$

其中 P_1 与 P_2 在视平面 ouv 中的坐标为 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) , α_x 和 α_y 分别为像素的列间距和行间距, u_0 和 v_0 分别为摄像机光轴与视平面的交点所在的行数和列数. 通常情况下, (u_0, v_0) 位于图像的中心, 由于在本文中所使用的两摄像机参数相同, 并且列间距 α_x 和行间距 α_y 基本相同, 令 Z 的公式中 $F = f/\alpha_x$, 则特征点 $P(X, Y, Z)$ 的三维坐标可以简化为如下公式:

$$\begin{cases} X = \frac{b(u_1 - u_0)}{u_2 - u_1}, \\ Y = \frac{b(v_1 - v_0)}{u_2 - u_1}, \\ Z = \frac{bF}{u_2 - u_1}. \end{cases} \quad (5)$$

根据摄像机透射投影模型推出的上述公式, 可以求出 P 点三维坐标, u_1, u_2 分别为摄像机成像平面坐标系下的坐标, Z 就是空间点到两摄像机所在平面的距离, b 为两摄像机光心之间的距离, F 为摄像机的标定复合焦距, 可以通过摄像机焦距的标定获得.

2 目标实时检测及定位的实现

2.1 系统的硬件结构框图

系统结合 DSP 自身的特点, 在 DSP 芯片 TM S320DM 642 和 TM S320F2812 上进行实验^[7]. 系统硬件框

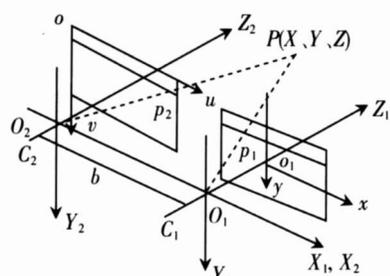


图 1 目标点在两摄像头成像示意图

Fig.1 The map of the object reflected in two cameras

图如图 2 所示,系统以 DM 642 为核心,配备摄像头,监视器, 32M Byte 的 SDRAM, 视频解码器和视频编码器控制视频的输入输出, TM S320DM 642 通过 RS232 串行接口与控制电机的 DSP TM S320F 2812 相连接, 由 TM S320F 2812 控制电机运动. 电机的转动速度信息通过霍尔传感器传递给 2812

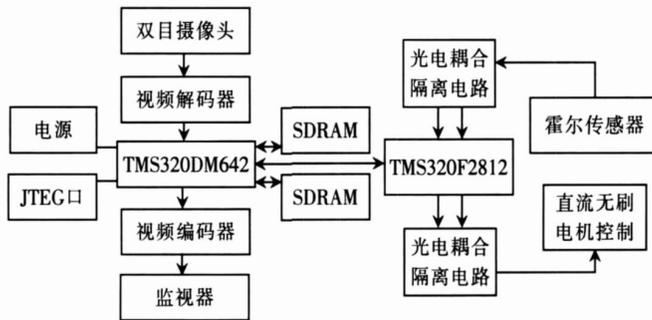


图 2 系统硬件框图

Fig.2 The hardware diagram of system

系统的功能结构框图如图 3 所示,以球为目标检测对象,通过 CCD 获取视频序列,对当前两摄像头采集过来的图像,通过图像处理算法,对图像进行目标检测,检测出目标,进行双目匹配并实时定位,然后通过 RS232 串行接口与控制电机的 DSP TM S320F2812 相连接,控制电机带动轮子跟踪运动目标.

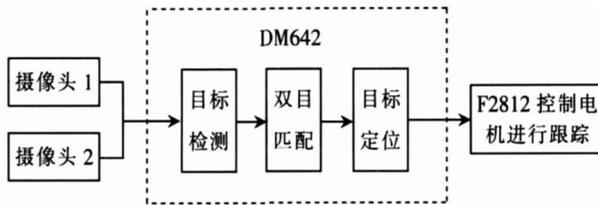


图 3 系统的功能结构框图

Fig.3 The function and structure system diagram

2.2 系统软件算法流程

本课题所有 DSP 应用程序软件都是在前面所设计的基于硬件平台 DM 642 和 F2812 上,在开发环境 CCS2.2 中完成的^[8]. 目标的检测与实现是一个不断调试和更新的过程,它将算法思想转变为二进制代码,由器件去完成相应的操作. 随着处理算法的不同要求,系统的软件也可以作相应的变化. 算法流程图如图 4 所示, 具体为: 采集左右摄像头图像,进行检测和识别,如果发现目标,则提取目标的中心,对两摄像头采集过来的图像进行匹配,计算目标的三维坐标给目标定位,根据三维坐标计算目标的运动参数,为跟踪做好准备.

2.3 系统的软件实现

通过建立摄像机的模型和摄像机的标定,要得到目标的坐标,还需要在两幅图中进行特征匹配,寻找同一目标在左右两幅图像中的对应像点,这个对应像点就称为特征匹配点,寻找对应点的过程就是在左右视图中寻找同一目标的特征匹配点的过程. 以足球为研究对象,首先要检测出左右摄像头中足球的特征点并对其特征点进行匹配,然后根据双目视觉模型对足球进行定位. 考虑到场地背景,足球及机器人队标都有固定的颜色,这些信息有助于更有效地对足球进行分割定位. 由于机器人足球比赛对图像处理的算法要求很高,实时性强,研究一种更为快速并且可靠的足球图像分割方法十分必要.

由于计算灰度重心的过程是个统计平均的过程,它算出的灰度重心位置点不是个别的最亮点的位置,而是图像中各个像素的灰度值加权平均的位置,所以以灰度重心为匹配点,匹配的随机误差小,抗干扰能

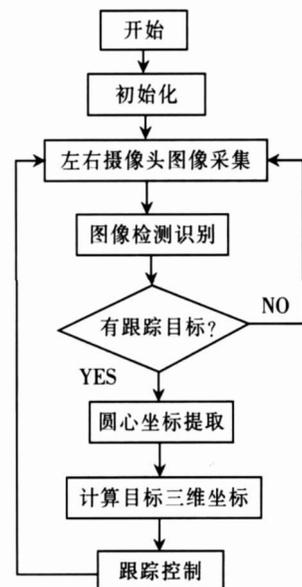


图 4 系统软件流程图

Fig.4 The flow diagram of software system

力强, 稳定性好. 基于研究的出发点在于快速准确的发现足球, 本文着重研究在 YUV 彩色模型中找出足球在左右摄像头中所成像的灰度重心, 并把此灰度重心作为左右摄像头所成图像的匹配点进行匹配, 在双目视觉模型中快速准确的求得足球的三维坐标, 从而实现了对足球进行快速有效的定位.

2.3.1 基于 YUV 彩色模型的足球检测算法

由于足球图像是由 PAL 制彩色摄像头获取的 YUV 格式图像, 所以选择在 YUV 空间进行图像分割, 免去了复杂的变换运算. CIE-XYZ 颜色模型是国际照明委员会于 1931 年规定的一种颜色表示系统, 对该 XYZ 彩色模型的三基色规范化得到 CIE 色度图. CIE-XYZ 颜色模型与 CIE 色度图常用来确定颜色和彩色混合. 现根据 CIE-XYZ 颜色模型及其色度图推导出在 YUV 彩色模型中进行彩色分割, 以期减少运算量和分割时间. 根据 RGB 表色系统与 CIE-XYZ 表色系统的关系式为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.812 & 0.010 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \quad (6)$$

对于 XYZ 颜色模型的三基色规范化, 得到色度坐标:

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \\ z = \frac{Z}{X+Y+Z} \end{cases} \quad (7)$$

$$x + y + z = 1 \quad (8)$$

CIE 的 X-Y 色度图 (见图 5) 中以 x (红) 和 y (绿) 函数表示颜色组成. 对应 x 和 y 的任意值, z 都可以通过公式 (10) 得到.

由上图可以发现 $x = 0.4$ 大致可以把红色从 RGB 模型中分离出来, 用数学方式描述该区域为:

$$x \geq 0.4 \quad (9)$$

把 (7) 式带入 (9) 式得到:

$$R \geq 0.64G + 1.26B, \quad (10)$$

若图像中像素的 R 、 G 、 B 分量值满足式 (10), 则其该像素的色调为红色, 即认为是红色的球的颜色. 由于实验用足球不是纯红色, 有点偏橙色, 通过实验表明, 约束关系:

$$R > 0.64G + 0.64B, \quad (11)$$

对球识别的效果更好. 本研究的出发点是寻找一种快速的目标分割方法, 由于图像采集过来是 YUV 格式图像, 所以把 (11) 式转到 YUV 空间, 一方面在机器人应用中在 YUV 空间通常比 RGB 空间更有用^[9, 10], 同时也避免了把图像每个像素转到 RGB 空间处理的转换时间. 把 (11) 式转到 YUV 空间的格式,

$$V > 0.154Y + 0.250U + 100 \quad (12)$$

发现效果很好, 对球的检测快速, 准确, 并且适用于实时检测.

2.3.2 目标定位的实现

实验用红偏橙色足球的图像为 SAM SUNG B/W CCD 摄像头在室内条件下拍摄得到, 图像分辨率为 720×576 像素, 25 帧 /s. 从 CCD 摄像头过来的两路视频信号, 分别经过两个视频解码芯片 (AD 转换芯片) SAA 7115 解码成 YUV 格式的数字图像信号送 DM 642 的视频接口. 设每个像素都对应确定的空间坐标 (x, y) , 以及灰度值 $f(x, y)$, 由于这种基于 YUV 彩色模型的图像分割方法受光线的影响较小, 利用 (12) 式对 YUV 空间彩色图像进行分割, 把目标和背景图像进行二值化, 判断像素是否满足 (12) 式, 若满足 (12) 式, 则为目标像素, $f(x, y)$ 为 1; 若不满足, 为背景像素, $f(x, y)$ 为 0. 这样就把原来的 YUV 空间彩色图像转化为二值图像. 这非常有利于进一步找出足球的灰度重心. 设某幅图像有 $M \times N$ 个像素组成, 则该足球

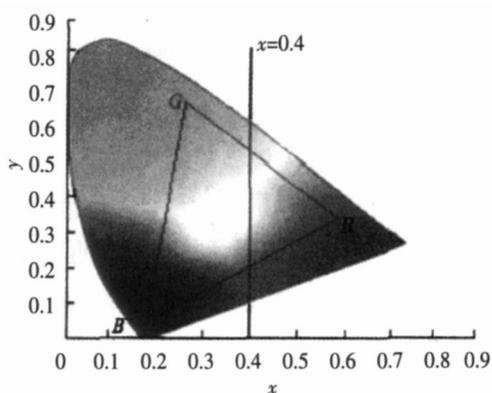


图 5 CIE 的 X-Y 色度图

Fig.5 X-Y Chromaticity diagram

的灰度重心 (X_c, Y_c) 的计算公式如下:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x_i, y_i) x_i}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x_i, y_i)}, \tag{13}$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x_i, y_i) y_i}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x_i, y_i)}. \tag{14}$$

计算出重心坐标后, 将重心坐标 (13), (14) 带入公式 (5), 从而求出足球相对于摄像头 1 的坐标, 完成目标的坐标定位. 系统采用 TI 高速芯片 TMS320DM 642 在双目视觉模型的基础上实现目标的分割和重心坐标计算的硬件图像处理方案. 该方案具有处理速度快和定位准确度高的特点, 可以很好的满足定位系统的要求. 图 6(a) 为左摄像头所拍的原图; (b) 为左摄像头所拍的原图; (c) 分割处理后右摄像头的图像; (d) 分割处理后右摄像头的图像.

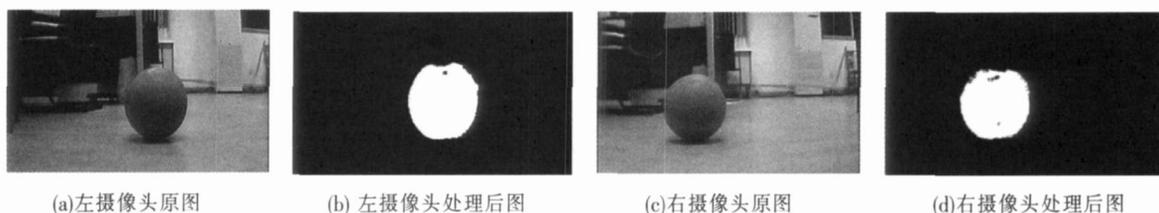


图 6 左右摄像头原图及处理后的图像

Fig.6 The photographs which are taken in left and right cameras and their processed photos

由于足球比赛在水平面上进行, 当足球所在平面对于 y 坐标都不变的情况下, 表 1 是基于双目视觉模型, 通过 YUV 颜色模型检测算法进行分割后获得的一组关于 X 和 Z 的实时定位数据如表 1 所示.

表 1 目标的实时定位

Tab 1 Real-time location of the object

	- 9.90	- 10.01	14.03	- 1.15	- 21
X	- 9.90	- 10.01	14.03	- 1.15	- 21
Z	50.86	74.39	101.44	111.91	149.6
实际 X	- 10.01	- 9.83	13.82	- 1.17	- 20.69
实际 Z	50.17	75.52	100.02	112.09	150.12
X 误差 /%	1.1	1.8	1.5	1.7	1.5
Z 误差 /%	1.4	1.5	1.4	0.2	0.3

前面是当目标是均匀红色、无遮挡情况下的运动目标检测与定位. 如果背景中有相近的颜色, 可以采用颜色和形状相结合的方法对目标进行检测. 如果目标不是红色, 或者目标不是均匀颜色, 就要采用其他的图像处理方法^[11-13]进行目标检测. 对目标检测、分割及匹配的算法很多, 没有哪一种特征是不变的, 没有哪一种算法是万能的, 关键是根据具体目标, 确定目标的特征点. 特征点可以是目标的面积、周长、圆度、矩形度、球形度、不变矩等, 利用这些特征点实现目标双目视差匹配^[14], 实现目标的定位. 当目标遮挡时, 可以根据前面时刻目标的坐标, 得到目标的运动轨迹及前一时刻的目标的速度, 从而预测出目标在当前被遮挡时刻的位置.

3 结论

本文首先建立了基于双目视觉进行定位的数学模型, 然后针对立体匹配的难点在双目视觉模型的基础上提出了基于 YUV 彩色模型的足球图像色调分割方法. 该方法使用简单, 无需确定阈值或训练, 就可以直接进行图像分割, 快速有效的提取彩色目标并对其定位, 并且受自然光影响较小, 因此能很好的实现目标与图像背景的分. 用其分割后的图像通过二值化可以方便的求出左右摄像头中目标图像即足球的重心, 并把重心作为足球在左右摄像头中所成像的匹配点. 最后基于双目视觉模型中进行匹配定位, 从而快速的得到足球的相对于摄像头 1 的三维坐标, 而且具有较高的精度, 完全满足实时比赛中对足球进行实时检测和定位的需要.

[参考文献] (References)

- [1] Cao Qixin, Masatenu N, Masafumi M. Study on grade judgment of fruit vegetables using machine vision (Part 2) [J]. Judgment for Several Varieties of Strawberry by Developed Software 1996 8(4): 228-236
- [2] Nagata M, Kinoshita O, Amano K. Studies on automatic sorting system for strawberry (Part I) [J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 1996 58(5): 57-66
- [3] Nagata M, Kinoshita O, Amano K. Studies on automatic sorting system for strawberry (Part II) [J]. Journal of Japanese Society of Agricultural Machinery, 1996 58(6): 61-67.
- [4] 王卫, 陈继荣, 徐璟业. 足球机器人彩色视觉图像的分割与识别 [J]. 计算机工程与应用, 2005 41(17): 68-71.
Wang Wei, Chen Jirong, Xu Jingye. Color image segmentation and recognition for soccer robots [J]. Computer Engineering and Application, 2005, 41(17): 68-71. (in Chinese)
- [5] 张铁中, 周天娟. 草莓采摘机器人的研究: I 基于 BP 神经网络的草莓图像分割 [J]. 中国农业大学学报, 2004 9(4): 65-68
Zhang Tiezhong, Zhou Tianjuan. Strawberry harvesting robot I segmentation of strawberry image by BP neural network [J]. Journal of China Agricultural University, 2004 9(4): 65-68. (in Chinese)
- [6] 万来毅, 陈建勋, 王卫平, 等. 基于 BP 神经网络的图像识别研究 [J]. 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2006 29(3): 277-279
Wan Laiyi, Chen Jianxun, Wang Weiping, et al. Image recognition based on BP neural network [J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2006, 29(3): 277-279. (in Chinese)
- [7] 李方慧, 王飞, 何佩琨. TMS320C6000 系列 DSP 原理和应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003 315-436
Li Fanghui, Wang Fei, He Peikun. The Theory and Application of TMS320DM642 DSPs [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2003 315-436 (in Chinese)
- [8] 彭启宗, 管庆. DSP 集成开发环境 - CCS 及 DSP/BIOS 的原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005 176-268
Peng Qizong, Guan Qing. DSP Integration Development Environment - the Theory and Application of CCS and DSP/BIOS [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2005 176-268 (in Chinese)
- [9] Gen'ichi Yasuda, Bin Ge. Color based object recognition, localization, and movement control for multiple wheeled mobile robots [C] // The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Busan, Korea, 2004(1): 395-400
- [10] 沈志忠, 王硕, 曹志强, 等. 基于边缘检测的图像分割方法及其在机器鱼中的应用 [J]. 机器人, 2006 28(4): 361-366
Shen Zhizhong, Wang Shuo, Cao Zhiqiang, et al. An image segmentation algorithm based on edge detection and its application to robotfish [J]. Robot, 2006 28(4): 361-366 (in Chinese)
- [11] 何鑫, 刘立柱. 机器人足球视觉系统中的实时图像处理 [J]. 微计算机信息, 2005 21(8): 49-50
He Xin, Liu Lizhu. An algorithm for real-time image processing in the robot soccer vision system [J]. Control and Automation, 2005, 21(8): 49-50 (in Chinese)
- [12] 许成坤, 蒋平. 基于全维视觉的足球比赛机器人目标定位 [J]. 微计算机信息, 2005 21(14): 85-86
Xu Chenkun, Jiang Ping. An objects orientation method for the robocup competition robots based on omni-directional vision [J]. Control and Automation, 2005, 21(14): 85-86 (in Chinese)
- [13] 景晓军. 图像处理技术及应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005 206-228
Jing Xiaojun. The Technology and Application of Image Processing [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005 206-228 (in Chinese)
- [14] 刘庆华, 唐伯良, 董戎萍. 双目立体匹配对的图像预处理研究 [J]. 计算机工程与设计, 2005 26(3): 793-795
Liu Qinghua, Tang Boliang, Dong Rongping. Study of binocular images pretreatment for stereo matching [J]. Computer Engineering and Design, 2005 26(3): 793-795. (in Chinese)

[责任编辑: 刘健]